

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO A PARTIR  
DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA LA VARIANTE DEL MUNICIPIO DE  
SAN GIL EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**



Autor:

Juan David Torres Chacón

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
2018

# **DISEÑO Y COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO A PARTIR DE DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA LA VARIANTE DEL MUNICIPIO DE SAN GIL EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

## **DESIGN AND COMPARISON OF PAVEMENT STRUCTURES FROM DIFFERENT METHODOLOGIES FOR THE VARIANT OF THE MUNICIPALITY OF SAN GIL IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER**

Juan David Torres Chacón  
Ingeniero Civil  
Universidad Militar Nueva Granda  
Bogotá D.C Colombia.  
U6100293@unimilitar.edu.co

### **RESUMEN**

El presente artículo tiene como objetivo comparar las metodologías de diseño para pavimentos flexible en la variante del municipio de San Gil en el departamento de Santander. El proyecto inicia con la recolección y selección de datos iniciales, correspondiente a estudios geotécnicos, geológicos, topográficos, hidrológicos y de tránsito, para posteriormente realizar el diseño de la estructura pavimento por el método AASHOTO 93 y Racional. De los resultados se identificó que los espesores de pavimentos obtenidos de cada metodología están directamente relacionados con el modelo de análisis de variables.

**Palabras claves:** Diseño, pavimentos, San Gil metodologías, AASTHO 93, método racional

### **ABSTRACT**

The objective of this article is to compare the design methodologies for flexible pavements in the variant of the municipality of San Gil in the department of Santander. The project starts with the collection and selection of initial data, corresponding to geotechnical, geological, topographic, hydrological and traffic studies, to subsequently design the pavement structure using the AASHOTO 93

and Rational method. From the results it was identified that the pavement thicknesses obtained from each methodology are directly related to the variable analysis model.

**Keywords:** Design, pavements, San Gil methodologies, AASTHO 93, rational method

## INTRODUCCIÓN

Existen numerosas metodologías en la literatura para el diseño de una estructura de pavimento bien sea flexible o rígido, las cuales tienen en cuenta diferentes variables y parámetros condicionadas por el clima, tránsito, esfuerzos, drenaje, propiedades de los materiales y aspectos regionales que determinan las dimensiones de las capas del pavimento. Sin embargo, se presenta cierta incertidumbre, en la calidad de la información obtenida, suministrada por las variables que tiene en cuenta cada método, los cuales se deben ajustar a las necesidades estructurales, funcionales y regionales de una vía específica, para el periodo de diseño. En los últimos años se han realizado estudios orientados a establecer la incidencia de las variables en el diseño de las estructuras de pavimentos.

En la Universidad Militar Nueva Granda se realizó un análisis comparativo de metodologías de diseño para estructuras de pavimento enfocada en el corredor Mulaló – Loboguerrero. Los resultados mostraron variaciones en los espesores del pavimento flexible de 44 cm por el método AASTHO 93 y 55 cm por el Racional y para el pavimento rígido de 47.5 cm por AASTHO 93, 45 cm por PCA y 43 cm por el manual diseño INVIAS. [1]

Otro estudio de la Universidad Militar Nueva Granda se realizó un análisis de las variables y parámetros para el diseño de la estructura del pavimento dentro de un túnel; casos de estudio túneles kachotis, pueblo nuevo, toyo y Sumapaz. Se estableció, que se debe tener en cuenta variables como características de los materiales, sistema de drenaje y análisis de tránsito. [2]

La zona objeto del presente estudio, es la Variante de San Gil ubicada en el departamento de Santander, cuyo principal objetivo es evitar el ingreso de vehículos pesados al casco urbano y por ende disminuir los tiempos de viajes entre los diferentes destinos, como Curiti, Aratoca y Bucaramanga. La ubicación de la Variante se caracteriza por tener sectores con pendientes longitudinales de hasta el 7%, secciones de perfil en media ladera y zona susceptibles a deslizamientos, por esto, la construcción de un pavimento rígido representaría elevados costos de mantenimiento, debido a la baja respuesta a esfuerzos que

sobrepasen los esfuerzos admisibles, descartando su uso y enfocándose principalmente en el diseño pavimento flexible. [3]

En Colombia los métodos más utilizados para el diseño de pavimento flexible son AASHTO 93 y el método Racional. El primero implementado por la American Association of State Highway and Transportation Officials de Estados Unidos se caracteriza por enfocarse en un análisis empírico, cuyo modelo considera variables estadísticas, de tránsito, drenaje y módulo resilientes de las diferentes capas a partir de coeficientes de aporte para obtener los números estructurales. El segundo utiliza modelos matemáticos aplicando la teoría de la elasticidad y leyes de fatiga, calculando esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles para las diferentes capas de una estructura de pavimento, obteniendo un consumo por fatiga y ahuellamiento. [4]

Es por esto por lo que el objetivo del presente estudio es diseñar y comparar la estructura del pavimento para la Variante de San Gil en el departamento de Santander, identificando la metodología que de acuerdo con las variables que integran se ajuste mejor a las condiciones de la región.

## **1. MATERIALES Y METODOLOGIA**

### **1.1. Localización**

La variante de San Gil está localizada en el municipio de San Gil en el departamento de Santander, con una longitud aproximada de 10 km, esta inicia en el municipio de Pinchote y termina en las afueras de San Gil. Actualmente la vía no existe y se tiene proyectada construir, con el fin de disminuir tiempos de viaje y evitar el ingreso de vehículos pesados al municipio [3]. En la figura 1 se muestra el trazado del diseño geométrico.

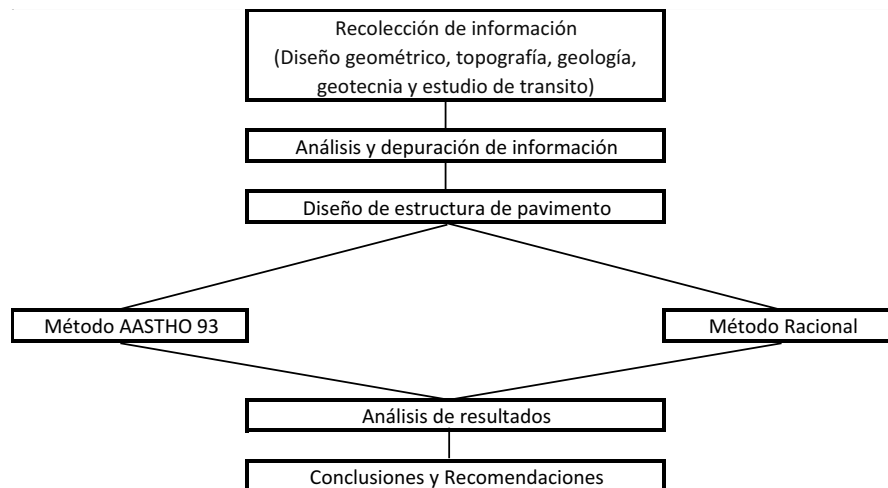


**Figura 1.** Ubicación y trazado de la Variante de San Gil  
**Fuente:** Cb Ingenieros S.A.S – Google Earth

Como se mencionó anteriormente la topografía de San Gil se caracteriza por tener un terreno natural con pendientes longitudinales de hasta el 7% y secciones en relleno, terraplén, corte y media ladera. Su temperatura anual promedio es de 25,5 °C y precipitaciones anual superiores a 1000 mm [3].

## 1.2. Metodología

La metodología empleada en la investigación se muestra en la Fig. 1, iniciando con la recolección y análisis de información relacionada con la zona de estudio (Diseño geométrico, topografía, geología, geotecnia y transito). Seguido, se realiza el diseño de la estructura de pavimento flexible por el método AASHTO 93 y el método Racional. Por último, se realiza el análisis de los espesores obtenidos para establecer la metodología más apropiada a partir de las variables y parámetros utilizados por los modelos.



**Figura 2.** Metodología de la investigación

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.3. Parámetros de diseño.

Para el desarrollo de las metodologías de diseño se tienen en cuenta las variables condicionadas por la región, definiendo aspectos a los que se enfrenta una vez construida y puesta en servicio determinando la vida útil de la estructura del pavimento. Las variables son la temperatura, precipitaciones, CBR, tránsito expresado en ejes equivalentes proyectada al periodo de diseño del pavimento y las propiedades de los materiales a utilizar.

De acuerdo con la campaña exploratoria se realizaron ensayos de CBR sumergidos por cada kilómetro de vía de la subrasante [3]. Teniendo como resultado los valores de la tabla 1. Realizando el análisis estadístico de los datos, se procedió a sectorizar tramos homogéneos para obtener los CBR (California Bearing Ratio) de diseño de 9% y 5%.

**Tabla 1.** CBR de variante de San Gil

ABSCISA	TIPO DE SUELO	W%	CBR SUMERGIDO
00+450	Arcilla limo arenosa color café. Plasticidad media	9,00%	9%
01+300	Limo arcillo arenosa color café. Plasticidad media	15,00%	10%

02+200	Arcilla limo arenosa color café. Plasticidad media	10,00%	9%
03+500	Arcilla limo arenosa color café. Plasticidad baja	16,00%	9%
04+200	Limo arcillo arenosa color café blanco. Plasticidad baja	15,00%	8%
05+400	Arcilla limo arenosa color café. Plasticidad media	11,00%	10%
06+200	Arcilla limo arenosa color café. Plasticidad media	8,30%	9%
07+600	Arcilla limo arenosa color ocre. Plasticidad muy alta	31,20%	5%
08+400	Arcilla arenosa color café plasticidad media	12,40%	8%
09+300	Arcilla arenosa color café plasticidad media	12,10%	9%

Fuente: **Cb Ingenieros S.A.S**

Para el estudio de tráfico, se realizaron aforo en puntos estratégicos con encuestas de origen-destino y posteriormente se proyectó el tránsito para un periodo de diseño de 10 años obteniendo 16.388.470 ejes equivalentes, catalogándose como nivel de transito Muy alto [3].

## 2. DISEÑO DE PAVIMENTO

Una vez establecidos los parámetros de diseño por condiciones regionales, se realiza el diseño de la estructura de pavimento para obtener los espesores de las capas, por el método AASTHO 93 y el método racional que se describen a continuación. Para efectos del presente estudio, las capas que integran la estructura de pavimento a diseñar son la subrasante, subbase, base y carpeta de rodadura compuesta por una mezcla asfáltica MDC-19 del Instituto Nacional de Vías [5]

### 2.1. Método AASTHO 93

El método AASTHO 93 es una guía para el diseño de estructuras de pavimento flexible, rígido y semirígido publicada por la América Association of State Highway and Transportation Officials que integra diferentes variables para obtener un

Numero estructural (SN) traducido en el dimensionamiento de las capas del pavimento [6]. Se caracteriza por ser un método empírico ya que supone que los principales mecanismos de falla del pavimento se presentan en la subrasante descartando las demás capas del pavimento. Así mismo el método No permite adaptarse a condiciones distintas a las que fueron estudiadas para su desarrollo e implementación, por lo cual generar cambios en las condiciones de clima (fenómenos naturales) y de tránsito (Cargas máximas permitidas de vehículos) disminuye la confiabilidad en la predicción de las capas. [4]

Bajo el esquema anterior en la siguiente tabla se presentan las variables que tienen en cuenta el método y sus valores.

**Tabla 2.** Variables contempladas - Método AASTHO-93

VARIABLES	VALORES
Periodo de diseño (años)	10
Tránsito (W18)	16.388.460
Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)	1,7
Confiabilidad ( R )	90%
Desviación estándar normal (Zr)	-1,282
Desviación estándar (So)	0,45
Módulo resiliente de la Subrasante Mr (Mpa)	70,91 48,68
Módulo elástico de la Mezcla asfáltica E (Mpa)	2992
Módulo resiliente Base MR (Mpa)	204
Módulo resiliente Subbase (MR (Mpa)	102
Coeficiente drenaje granulares m2 y m3	0,9
Coeficiente drenaje Mezcla asfáltica m1	1

Fuente: Elaboración propia

Las variables se definen a partir del tipo de vía que para el caso de la Variante de San Gil, es una carretera de tipo Rural.

Los módulos de los diferentes materiales se obtienen a partir de monogramas propuestos por la guía con suelos de llinios, California y Texas. Así mismo el modulo elástico de la mezcla asfáltica es para una temperatura de 20° C. [6]

Con los datos anteriores y por medio del Software de Aashto, se dimensionan las estructuras de pavimento para los dos sectores de vía, obteniendo los siguientes espesores:

**Tabla 3.** Espesores de capa - Método AASTHO-93

Capa	Sector 1	Sector 2
Mezcla asfáltica (cm)	15,00	15,50
Base (cm)	18,00	20,00



Subbase (cm)	20,00	28,00
--------------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Método racional.

Este método supone que el pavimento está formado por capas horizontales infinitas, paralelas de espesor constante, apoyadas en un espacio semi infinito (subrasante), el material de cada capa es un medio elástico, homogéneo e isotropico, donde tiene en cuenta el estado de esfuerzos y deformaciones que experimentan las capas de la estructura de pavimento, para compáralas con los admisibles, normalmente determinados con programas computacionales; adicionalmente contempla las características de las cargas vehiculares, presión de contacto de las llantas, propiedades mecánicas de los materiales (módulo resiliente y la relación de Poisson) y los espesores de las capas. El método racional tiene en cuenta los dos criterios de falla de los pavimentos, el ahuellamiento presentando en la subrasante y la fatiga presentada en la parte inferior de la capa de la carpeta asfáltica. [4]

Para efectos del presente estudio, se utilizó el software Weslea for Windows versión 3.0 en la determinación de los estados de esfuerzos de la estructura de pavimento, para el módulo dinámico de la mezcla asfáltica MDC-19 se tuvo en cuenta las curvas maestras del Manual de pavimentos – Medio y altos volúmenes de Invias y, para determinar los esfuerzos y deformaciones admisibles para periodo de diseño de ejes equivalentes, se utilizó los modelos de comportamiento del método Shell modificado. [5]

### Modelo de fatiga - Shell

$$N = K(0,856 * Vb + 1,08)^5 * et^{-5} * (10^6 * E)^{-1,8} \quad (1)$$

Dónde:

et: Deformación unitaria por tracción en la base del concreto asfáltico, en mm/mm

Vb: volumen de asfalto en la mezcla, %

E: Modulo dinámico de la mezcla, N/m<sup>2</sup>

N: Numero de ejes equivalentes de 8,2 Tn

K: coeficiente de calage, que depende de la confiabilidad

### Modelo de ahuellamiento

$$N = 1,94 * 10^{-7} * et^{-4} \quad NC=85\% \quad (2)$$

Dónde:

N: número de repeticiones de carga por eje admisible para el periodo de análisis

et: Deformación vertical por compresión de la subrasante, mm/mm.

**Tabla 4.** Variables - Método Racional

VARIABLES	VALORES
Periodo de diseño (años)	10
Presión de inflado Mpa	551,5
Carga (q) kn	20
Relación Poisson M.A	0,35
Relación Poisson Granurales	0,4
Relación Poisson Subrasante	0,49
Módulo resiliente de la Subrasante Mr (Mpa)	71
Módulo elástico de la Mezcla asfáltica E (Mpa)*	4843,775
Módulo resiliente Base MR (Mpa)	210
Módulo resiliente Subbase (MR (Mpa)	100
Frecuencia (hz)	10
Temperatura °C	25,5

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores y por medio del Software de Weslea, se dimensionan las estructuras de pavimento para los dos sectores de vía, obteniendo los siguientes espesores:

**Tabla 5.** Espesores pavimentos - Método Racional

Capa	Sector 1	Sector 2
Mezcla asfáltica (cm)	19,00	19,50
Base (cm)	22,00	24,00
Subbase (cm)	21,00	29,00

Fuente: Elaboración propia

### 3. ANALISIS DE RESULTADOS

Realizado el diseño de la estructura de pavimento flexible de la variante de San Gil por la metodología AASHTO 93 y Racional se tienen los siguientes resultados:

**Tabla 6.** Variables - Método Racional

Capa	AASHTO		RACIONAL	
	Sector 1	Sector 2	Sector 1	Sector 2
Mezcla asfáltica (cm)	15,00	15,50	19	19,5
Base (cm)	18,00	20,00	22	24
Súbase (cm)	20,00	28,00	21	29
TOTAL	53,00	63,50	62	72,5

**Fuente:** Elaboración propia

El espesor de la estructura de pavimento flexible por el método AASTHO es de 53 y 63,5 cm, mientras que por el racional es de 62 y 72,5 cm, teniendo una variación entre 12% - 14%.

De acuerdo con la Tabla 2 y 4 se observa que la diferencia de los resultados está relacionado directamente con las variables que intervienen en cada metodología, por ejemplo el método racional tiene en cuenta la temperatura de la región, influyendo directamente en la determinación del módulo dinámico de mezcla, ya que el comportamiento del asfalto está directamente relacionado con la temperatura de funcionamiento, a diferencia del método AASTHO el cual tiene en cuenta la temperatura de las condiciones locales en donde se desarrolló el método.

El método ASTHO contempla variables como el drenaje y parámetros estadísticos, mientras que el racional, tiene en cuenta la relación de Poisson de los materiales, y la frecuencia, traducida en la velocidad de diseño de la vía

#### **4. CONCLUSIONES.**

El espesor de la estructura de pavimento flexible para la variante de San Gil por el método AASTHO es de 53 y 63,5 cm, mientras que por el racional es de 62 y 72,5 cm, teniendo una variación entre 12% - 14%.

El análisis de variable que aporta cada método influye directamente en la predicción del dimensionamiento de la estructura de pavimento y cada método tiene en cuenta diferentes variables como drenaje y temperatura. Así mismo ambos métodos tiene en cuenta variables, como el tránsito, periodo de diseño, propiedades de los materiales, parámetros estadísticos, por cual establecer que metodología se ajusta más a las condiciones de la Variante de San Gil resulta inadecuado, generando incertidumbre. Por lo cual juega un papel importante la experiencia del diseñador, a la hora de determinar las dimensiones de la estructura de pavimento.

La metodología AASTHO cuenta con ciertas limitaciones orientadas a que el método fue desarrollo e implementación bajo condiciones específicas, por lo cual no permite el cambio de parámetros como la temperatura y propiedades de los materiales para ajustarla a las condiciones locales de la Variante de San Gil.

## REFERENCIA

- [1] H.S. López, Análisis comparativo entre diferentes metodologías de diseño para estructuras de pavimento implementando los parámetros de diseño requeridos para el corredor Mulaló - Loboguerrero. Bogotá D.C., mayo, 2015, <http://hdl.handle.net/10654/13950>.
- [2] J.G. Corredor, J. Gonzalo, & C.A. Palomino. Análisis de las variables y parámetros para el diseño de la estructura del pavimento dentro de un túnel; casos de estudio túneles Kachotis, Pueblo Nuevo, Toyo y Sumapaz. Bogotá D.C, junio, 2017, <http://hdl.handle.net/10654/16553>.
- [3] CB INGENIEROS S.A.S, Estudio de factibilidad de la carretera Barbosa – Bucaramanga. Capítulo de geología y geotecnia, hidrología e hidráulica, topografía y tránsito. 2016.
- [4] H.A. Rondón & F.A. Reyes, Pavimentos materiales, construcción y diseño, Bogotá D.C, Colombia: Ecoe Ediciones, 2015, 377- 548.
- [5] Instituto Nacional de Vías & Ministerio de transporte, Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con Medios y altos Volúmenes de Tránsito, agosto, 2017.
- [6] American Association of State Highway and Transportation Officials, Guide for Design of Pavement Structure 1993, Washington D.C, USA: Capitol Street, 1993, III19 – III59.